

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Construcción y puesta en marcha de un horno de ladrillo para
combustión de leña para vidriado de artesanías con plomo**

Nicolás José Espinosa Guarderas

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Químico.

Quito, 1 de Julio del 2009

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico**

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Construcción y puesta en marcha de un horno de ladrillo para
combustión de leña para vidriado de artesanías con plomo**

Nicolás José Espinosa Guarderas

Dr. Carlos Fabara, M.Sc.
Director de la Tesis y Decano
del Colegio de Química e
Ingeniería Química

.....

Dr.-Ing. Daniela Almeida
Miembro del Comité de Tesis

.....

Gustavo Muñoz, Ph.D
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, M.S.
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, 1 de Julio del 2009

© Derechos de autor: Según la actual Ley de Propiedad Intelectual, Art 5:

“el derecho de autor nace y se protege por el solo hecho de la creación de la obra, independientemente de su mérito, destino o modo de expresión... El reconocimiento de los derechos de autor y de los derechos conexos no está sometido a registro, depósito, ni al cumplimiento de formalidad alguna.” (Ecuador. Ley de Propiedad Intelectual, Art. 5)

Agradecimientos

Le agradezco a mi padre, Nicolás Espinosa por el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto ya que sin él nada de esto pudiera haberse cumplido.

Resumen

En la parroquia La Victoria, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, se elaboran tejas, vasijas y otros artefactos de cerámica vidriados con plomo para la venta. Para su manufactura, se introducen dichos artefactos en hornos, que comúnmente utilizan aserrín para ser calentados. El momento que se produce la cocción y el vidriado de la cerámica; el plomo, que es utilizado como fundente en el proceso de vidriado, es desprendido hacia los pobladores aledaños en un radio de aproximadamente 6000 m de la ubicación de la chimenea del horno, causando problemas de salud a los artesanos y habitantes. Por prevenir la contaminación por plomo, se ha propuesto la construcción de un horno con tiro cruzado de manera que los gases circulen uniformemente por la carga y se canalicen los gases hacia un conducto único. Para su calentamiento debe utilizarse leños de madera de eucalipto, ya que esta se demora mayor tiempo en quemar (en comparación con el aserrín) y se disminuye el contacto del artesano con los gases calientes de combustión. De similar manera, el área de combustión debe ser construida en compartimentos separada del área de cocción; de esta manera se reduce el riesgo que gases contaminados con plomo circulen hacia la sección de combustión donde el artesano tendrá mayor contacto. No obstante, para que el horno sea útil, debe alcanzar por lo menos 800°C por alcanzar a la temperatura de vidriado.

Abstract

In La Victoria parrish, at Pujilí county, at the province of Cotopaxi in Ecuador (South America) artesans elaborate lead glazed weave, vessels and other ceramic artefacts. On this manufacturing process, the ceramic is introduced in ovens, which commonly use sawdust to heat them. Then the cooking and glazed process is developed with lead, which is used as a melting agent. After this process, lead is difussed towards the atmosphere in a radius of approximately 6000m, causing severe health problems towards their people. To reduce the health inconveniences caused by lead while the artesans are working in their ovens, an oven has been constructed. The oven has a crossed draft so that the combustion gases distribute their heat in a uniform way and so that they are canalized towards a single chimeney. The oven is designed to be heated with wood bricks because the combustion of it, decreases the time for which the artisan has to approach towards the combustion chamber and add more wood (compared to the time the worker had to wait to put more sawdust). Similarly, the combustion chamber has to be installed on a different section than that of the cooking area. This way, the possible exposure of contaminated gases, where the artisan has contact, is reduced. Nevertheless, for the project to be effective the oven must have the capacity to reach 800°C.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Los Hornos Artesanales	2
1.1.2 Emisiones de Plomo en los hornos acuales	3
1.2 La cocción de cerámica y el vidriado.....	4
1.2.1 La arcilla.....	4
1.2.2 Cambios en el proceso de cocción	4
1.2.3 Vidriado.....	7
1.3 Complicaciones de salud por exposición con plomo.....	9
1.3.1 Síntomas por plomo en los infantes, niños de preescolar de 6 años y adolescencia.....	11
1.3.2 Síntomas por envenenamiento por plomo en adultos.....	12
1.3.3 Concentración de plomo en la sangre en los habitantes La Victoria....	12
1.4 Propuesta para reducir el problema	13
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos	15
2.1 Diseño actual de los hornos de la parroquia La Victoria	15
2.2 Diseño de Hornos.....	17
2.2.1 Diseño del hogar para quemar leña.....	17
2.2.2 Diseño del Tiro.....	19
2.2.3 Registro.....	22
2.2.4 Alimentación de combustible sólido	23
2.2.5 Diseño de la Puerta.....	24
2.2.6 Medición y control de la temperatura.....	25

2.2.7 Posibles problemas y soluciones.....	28
Capítulo 3: Metodología	30
3.1 Diseño del horno	30
3.2 Materiales y Construcción	31
3.3 Construcción del Horno.....	34
CAPTITULO 4.	38
Funcionamiento y Modificación del Horno.....	38
4.1 Problemas y Soluciones en la puesta en marcha del horno.....	38
4.2 Observaciones en el Funcionamiento del Horno.....	41
5. Conclusiones y Recomendaciones	43
6. Bibliografía	45

CAPITULO 1

Introducción

1.1 Antecedentes

En la parroquia La Victoria, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi se elaboran tejas, vasijas y otros artefactos de cerámica vidriados para la venta. Para su manufactura, se introducen dichos artefactos en hornos, que comúnmente utilizan aserrín de madera para ser calentados. El momento que se produce la cocción y el vidriado de la cerámica el plomo, que es utilizado como fundente en el proceso de vidriado, es desprendido hacia los alrededores causando graves daños a sus artesanos. A pesar de los daños causados por el plomo, éste se sigue utilizando por el bajo costo del metal, comparado con otras técnicas de vidriado por su fácil obtención y por su punto de fusión relativamente bajo. Esto resulta por que los hornos artesanales que actualmente se utilizan no alcanzan los puntos de fusión de otros metales que pudieran dar un vidriado similar al que produce el plomo.

Una de las fuentes más frecuente de abastecimiento de plomo para el vidriado de las vasijas son las baterías de los automóviles. La Figura 1.1 muestra baterías destrozadas luego de que se ha extraído el plomo de su interior. Los interiores de las baterías son triturados y calentados para la eliminación del ácido sulfúrico. Los artesanos tienen contacto con estos gases ya que no existen las prevenciones necesarias para evitar su inhalación como lo presenta la Figura 1.2



Figura 1.1: remanentes de la batería luego de la extracción del plomo de su interior



Figura 1.2: Horno humeante con gases tóxicos de plomo y otros contaminantes

1.1.1 De Los Hornos Artesanales los hornos que actualmente se utilizan, comúnmente tienen una de las dos formas como lo muestran las Figuras 1.3 y 1.4:



Figura 1.3: Horno para vasijas



Figura 1.4: Horno para vidriado

Los hornos para artesanías se difieren de los hornos de tejas en que los primeros tienen una chimenea mientras que los de tejas son abiertos. Los hornos son calentados por la parte inferior con aserrín y leña de eucalipto. El aserrín debe ser alimentado constantemente para llegar a la temperatura deseada y el momento que se produce la combustión, los gases contaminantes de plomo salen por la compuerta de carga del aserrín, la puerta del hogar donde se carga las artesanías y por el conducto de chimenea si fuera el caso. En todo este proceso

los artesanos se encuentra muy cerca de las emisiones de combustión. Lamentablemente, los artesanos inhalan los gases producidos por la combustión de la madera y los gases de plomo que se desprenden de las artesanías vidriadas. Los hornos artesanales requieren una gran cantidad de leña debido a que existen varias aperturas de escape del calor, por lo que el control de las emisiones de gases contaminantes en los diseños actuales es un proceso complejo.

1.1.2 Las pruebas de las emisiones de gases con plomo en los hornos actuales lo realizó Fernando Ortega, MD. MA. Ph.D.¹ y sus colegas. Para esto, recolectaron varias muestras de suelo a diferentes distancias de los hornos de vidriado de tejas. El resultado se muestra en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1: Concentración de plomo en muestras de suelo a diferentes distancias desde un horno de vidriado

	Distancia (metros) desde el horno					
	10	50	100	1000	2000	6000
Concentración de plomo ppm ($\mu\text{g/g}$)	29.21	172	81	55	19	1.4

[1]

Los científicos señalados anteriormente, realizaron una prueba de suelo a 500 km al sur de los hornos de vidriado analizados anteriormente y se encontró que la concentración de plomo en el suelo era de 2.3 ppm y 2.8 ppm. [1] Esto muestra

¹ Departamento de Desarrollo Comunitario Integral, Colegio de Ciencias de la Salud, Universidad San Francisco de Quito. Oficina 203, Ed. Eugenio Espejo. T. (5932) 297 1700 ext. 1134 fortega@usfq.edu.ec

una evidente relación entre la combustión de los hornos de la Victoria y la contaminación por plomo en el área.

1.2 La cocción de cerámica y el vidriado

1.2.1 La arcilla como mineral es un compuesto conformado por una molécula de óxido de aluminio, dos moléculas de óxido de silicio y dos moléculas de agua. Ligada a su estructura también se puede encontrar material orgánico. Las partículas de arcilla son mas pequeñas que las de una partícula coloidal, esto se manifiesta también en sus propiedades físicas. La arcilla tiene la propiedad de ser plástica cuando se le humedece; es decir, que se le puede deformar en varias maneras y mantiene dicha deformación. Esta propiedad esta relacionada con el tamaño de partícula debido a que cuando se le moja, las partículas tienden a quedar adheridas entre si. La plasticidad esta también relacionada con el material orgánico que se encuentra en su estructura. De acuerdo con Rhodes [2], la materia carbonosa actúa como pegamento entre las partículas de arcilla. Existen varios tipos de arcilla con distintas tamaños de partícula, los mas gruesos tienden a tener menos plasticidad.[2]

1.2.2

La arcilla sufre una serie de cambios durante su proceso de cocción. Para que la arcilla pueda ser utilizada como vasija o teja, es necesario cocerla. El proceso de cocción esta relacionado con cuatro procesos: secado,

oxidación, inversiones del cuarzo y la vitrificación; las cuales se explican a continuación.[2]

El secado es el primer cambio que ocurre en la arcilla. Este proceso ocurre principalmente a 100°C, temperatura a la cual se evapora el agua a una atmosfera de presión. Para este hecho es necesario un incremento paulatino de temperatura, de manera de permitir el desalojo de las partículas de agua o humedad sin tener riesgos a que las piezas explodieren o se deformen. Es común que se utilice secadores especializados para evitar posibles problemas potenciales en el proceso de deshidratación de la pieza.

Concluida esta etapa, se calienta a 350°C para eliminar el agua ligada de la estructura de arcilla. En esta etapa, es primordial mantener la pieza en el horno por un tiempo prolongado para evitar el desalojo repentino de vapor y por lo tanto, la ruptura de la pieza. Si se continua el proceso de calentamiento, a los 500°C se notará la perdida de la plasticidad de la pieza y la completa deshidratación de la misma.[2]

El proceso de oxidación de la materia carbonacea e inorgánica es el paso siguiente en la cocción de la arcilla. Una característica típica en la correcta oxidación de las piezas es el color de las mismas. Por ejemplo, un color negro muestra una oxidación incompleta del material, esto puede ocurrir por súbitos incrementos en la temperatura o la insuficiencia de oxígeno en el interior del horno. La oxidación termina cuando el horno alcanza los 900°C.[2]

Las arcillas tienen cantidades apreciables de cuarzo. El cuarzo a distintas temperaturas cambia de forma cristalina. Si ocurre un ascenso de temperatura, el cuarzo cambia de una estructura alfa a cuarzo con estructura beta al hasta llegar a los 573°C. El descenso de temperaturas mayores a 573°C tendría como

resultado un cambio estructural en su forma cristalina de la conformación beta a la alfa. Como resultado de esta cambio estructural, la molécula tiene cambio en su volumen ($\pm 2\%$). Esta alteración en su volumen puede producir agrietamientos en la arcilla por lo que se recomienda un incremento o descenso lento al aproximarse a la temperatura de transición estructural del cuarzo.[2] La Figura 1.5 muestra la diferencia entre la estructura alfa y la estructura beta.

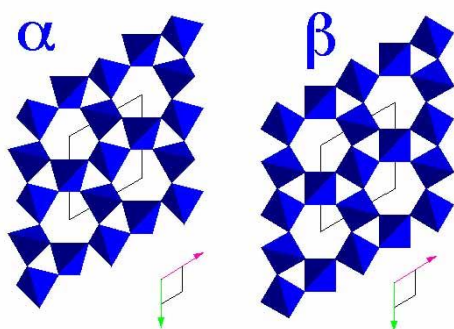


Figura 1.5: Diferencia entre la estructura del cuarzo alfa y beta. [8]

A temperaturas superiores a los 800°C se produce la vitrificación. La vitrificación da como resultado un endurecimiento, compactación (contracción de la arcilla) y finalmente una transformación parcial de la arcilla en vidrio. Es decir las partículas de hierro y otros óxidos se funden parcialmente y forman una estructura de vidrio que cuando se enfrían logran establecer una estructura dura y compacta. La vitrificación permite a la arcilla incrementar su dureza y densidad. Las contracciones por vitrificación pueden ser tan altas como para disminuir su volumen en hasta un 10%. Estos cambios son también el resultado de las fusiones de los distintos componentes de la arcilla, que muchas veces son impurezas, tales como los óxidos de hierro. La vitrificación se produce paulatinamente ya que no todos sus componentes tienen el mismo punto de fusión [2]. El endurecimiento de la arcilla es también una consecuencia de la

cristalización de la mullita. La mullita es un mineral de silicatos de aluminio con unos cristales largos y acirculares. Sus cristales incrementan su tamaño a medida que aumenta la temperatura hasta que llegan a extenderse por toda la matriz vítrea de la arcilla. Como resultado de la cristalización, la arcilla gana cohesión y resistencia.

1.2.3 El vidriado es un terminado que le da el ceramista a las vasijas y otros artefactos de arcilla. Para su preparación se añade principalmente sílice el cual puro funde a aproximadamente 1710°C , y otros compuestos para incrementar la viscosidad, colorear y texturizar a la cerámica [2]. Para disminuir su punto de fusión se añaden compuestos que incentivan la fundición de sílice y, por lo tanto, se los denomina fundentes. Estos fundentes se oxidan junto con el óxido de silicio para formar el vidrio que por su nueva estructura tiene un menor punto de fusión como es el caso del óxido de plomo y el óxido de silicio. [3] Para este hecho se utiliza por lo general óxidos metálicos tales como el óxido de plomo, óxido de sodio, óxido de potasio, óxido de calcio, óxido de bario, óxido de magnesio, óxido de zinc, óxido de estroncio, óxido de antimonio, óxido de litio y óxido bórico. Cada uno de estos tiene su particularidad con respecto a los terminados que puede producir; sin embargo, la temperatura de vidriado varía considerablemente. La Figura 1.6 se puede visualizar las posibles zonas de fusión de los fundentes de acuerdo a su composición. Es decir de acuerdo a la mezcla de óxido de silicio, fundente y la composición de la alúmina existente determinan el punto de fusión. No obstante, es importante recalcar que el plomo es de los compuestos con menor punto de fusión (886°C).

	De 800 a 900°C	de 900 a 1000°C	de 1000°C a 1100°C	de 1100°C a 1125°C	de 1125° a 1200°C	de 1200°C a 1300°C	de 1300° y superior
Óxido de plomo							
Potasa o sosa							
óxido bórico							
espatofluor							
óxido cálcico							
óxido de manganeso							
óxido de bario							
óxido de zinc							

Figura # 1.6: Temperaturas de vidriado en función de la proporción de fundente añadido.[2]

Para incrementar la viscosidad del vidriado es necesario también la adición de óxidos de aluminio (alúmina) de manera que el sílice se puede adherir a la superficie de la cerámica y esta no se deslice de su posición inicial. [2,6]

El proceso de vidriado es una consecuencia de la fundición de los óxidos que se encuentran incorporados en el material. El momento que se cuece la arcilla y se transforma en un color rojo; los compuestos volátiles se pierden y la arcilla termina componiéndose casi enteramente por óxidos. Estos compuestos se van

fundiendo paulatinamente con el incremento de la temperatura hasta que todos se mezclan y forman una capa homogénea de material.[2]

1.3 Complicaciones de salud por exposición con plomo

El plomo ingresa al organismo por tres vías: respiratoria, digestiva o por la piel. Una vez en el cuerpo humano desplaza al hierro de los eritrocitos y se dirige hacia el cerebro, riñones, hígado, músculos y huesos en su mayoría. Entre las consecuencias de este proceso esta la interfencia para la síntesis del hemoglobina y en las mitocondrias interfiere la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos. La eliminación del plomo se produce por el sudor, pelos, uñas, heces y orina [1].

Se han encontrado efectos nocivos por la contaminación con plomo desde los 10 µg/dl [1]. A esta concentración de plomo ya se puede producir una toxicidad fetal. El plomo ingresa al organismo luego atraviesa la barrera placentaria y llega al embrión o al feto. Dicho contacto influye negativamente, alterando el desarrollo del sistema nervioso central y su función cognitiva [1].

El saturnismo o plumbismo crónico, que es el envenenamiento por plomo, depende de la concentración en la sangre para generar diferentes efectos en el individuo. La Tabla 1.2 muestra los efectos del plomo con relación a su concentración.

Tabla 1.2.: Síntomas de Intoxicación por plomo en Niños y Adultos

Concentración	Efecto para Niños	Efectos para Adultos
10	<ul style="list-style-type: none"> - problemas de comportamiento y aprendizaje - déficit de atención 	<ul style="list-style-type: none"> - cambios en personalidad - gusto metálico - perdida de apetito - dolores de cabeza - cólicos abdominales - incremento en la presión arterial - disminución en la capacidad auditiva - infertilidad masculina - problemas renales
> 30	<ul style="list-style-type: none"> - trastornos en la velocidad de conducción de impulsos. - trastornos en el metabolismo de la vitamina D 	-----
> 40	Anemia	-----
> 50	<ul style="list-style-type: none"> - cólico abdominales - deficiencia cognitivas - encefalopatía 	<ul style="list-style-type: none"> - anemaia - disfunción encefálica mínima - problemas gastrointestinales
> 100	<ul style="list-style-type: none"> - convulsiones - muerte 	<ul style="list-style-type: none"> - convulsiones - muerte

[1]

1.3.1 En infantes posibles síntomas por absorción de plomo pueden ser anorexia, irritabilidad, vómito ocasional, ligeros dolores de estomago, rechazo a jugar, y otros cambios en su comportamiento. Si se encuentra deficiencias de hierro en el infante es recomendable un análisis de absorción de plomo. El plumbismo no da muestras de síntomas a esta edad hasta que se llega a un problema encefalítico agudo, que produce síntomas tales como: vomito permanente, estupor, convulsiones y coma.[4]

En los niños de edad preescolar son probables varios tipos de epilepsia, problemas en el desarrollo mental, autismo, o desordenes psicológicos severos.[4]

En niños de 6 años y la adolescencia, los síntomas pueden presentarse como: sabor metálico en la boca, boca seca, nausea, vómito, debilidad, cólico, dolores abdominales, irritabilidad, dolores en brazos y piernas.[4]

1.3.2 Los síntomas por envenenamiento por plomo en adultos son el embotamiento, desazón, irritabilidad, cefalalgias, temblor muscular, alucinaciones y pérdida de la memoria y de la capacidad de concentración. [5]

1.3.3 La concentración de plomo en la sangre en los habitantes de La Victoria lo estudiaron los científicos Fernando Ortega, MD. MA. Ph.D.², S. Allen Counter, DMSC, Ph.D.³, Leo H. Buchanan, Ph.D.⁴ Gören Laurel, MD⁵. Ellos identificaron que la concentración de plomo en la sangre los habitantes de la Victoria era alta, los detalles se muestran a continuación:

En el año de 1995, los científicos anteriormente señalados realizaron un análisis aleatorio de 81 niños. El estudio reveló que la mediana es de 51 µg/dl; con un valor mínimo de 10 µg/dl y un máximo de 110 µg/dl. Se encontró también que los niños de familiares relacionados con dicha actividad tenían una mediana de 61 µg/dl; mientras que los niños que no eran relacionados con la actividad de vidriado, tenían una concentración de 21 µg/dl. En el mismo año se realizó un estudio similar en comunidades que no estaban expuestas al contacto con plomo. Para ellos la concentración de plomo fue aproximadamente 6.4 µg/dl. Se realizaron estudios similares hasta el año 2003 y la concentración de plomo en la

2 Departamento de Desarrollo Comunitario Integral, Colegio de Ciencias de la Salud, Universidad San Francisco de Quito. Oficina 203, Ed. Eugenio Espejo. T. (5932) 297 1700 ext. 1134 fortega@usfq.edu.ec

3 Neurology/Harvard Medical School, The Biological Laboratories, 16 Divinity Avenue Cambridge, MA 02138 allen_counter@fas.harvard.edu

4 E. K. Shriver Center. 200 Trapelo Road. Waltham, MA 02452 University of Massachusetts Medical School (LHB). Leo.Buchanan@umassmed.edu

5 Departamento de Otorlaringología, Hospital Karolinska, S-171 76 Estocolmo, Suecia

sangre de los niños no varió significativamente. Estos datos confirmaban la intoxicación de plomo en los niños.

En el año 2004 se introdujo un programa para la disminución de Pb. Con esto las concentraciones de plomo en los niños disminuyeron de la siguiente manera. En el año 2004, los niños de los familiares relacionados a la actividad tuvieron una mediana de 40 $\mu\text{g}/\text{dl}$, en el 2005 fue de 29.3 $\mu\text{g}/\text{dl}$, en el 2006, 26.7 $\mu\text{g}/\text{dl}$; y finalmente en Octubre del 2007 fue de 18.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$. [1]

1.4 Propuesta para reducir el problema

Como se estableció anteriormente, los hornos artesanales tienen aberturas en la chimenea, en el orificio de carga de material para la combustión y en el orificio de ingreso de materiales.



Figura 1.7: orificio para carga de aserrín



Figura 1.8: orificio para carga de material

Ya que no existe un sistema para canalizar los gases hacia un conducto único, que debería ser la chimenea, los gases se desprenden por otros orificios como son el orificio de carga de combustible y el de carga de material. La evidencia se muestra en la Figura 1.7 y 1.8 en donde es posible visualizar hollín negro en los alrededores de cada orificio.

Para reducir el impacto de gases perjudiciales para la salud del artesano el momento en que realiza vidriado de tejas en los hornos artesanales, se propone la construcción de un horno. Este tiene que tener la capacidad de conducir los gases hacia un solo conducto que será la chimenea. Con esta corrección en el diseño, se disminuirá la exposición del artesano con los gases de plomo. Para que el horno sirva de modelo de los hornos construidos en La Victoria, es necesario utilizar los mismos materiales que los que se usan en la actualidad. Se plantea también un diseño que pueda distribuir el calor de manera uniforme a lo largo de todo el horno. El combustible para el horno debe ser madera ya que se tratará de imitar las mismas condiciones que se han utilizado hasta el momento.

CAPITULO 2

Fundamentos Teóricos

2.1 Diseño actual de los hornos de la parroquia La Victoria

Revisando fuentes bibliográficas puede apreciarse que el diseño de horno que se utiliza con mayor frecuencia en La Victoria, proviene de la época Medieval en España. Los españoles utilizaban este tipo de horno para realizar lustre [6]. Los italianos aprendieron de los españoles esta técnica ya que los segundos llegaron a conocerla con perfección [6]. A continuación, en la Figura 2.1, se muestra un

bosquejo de los hornos
españoles medievales

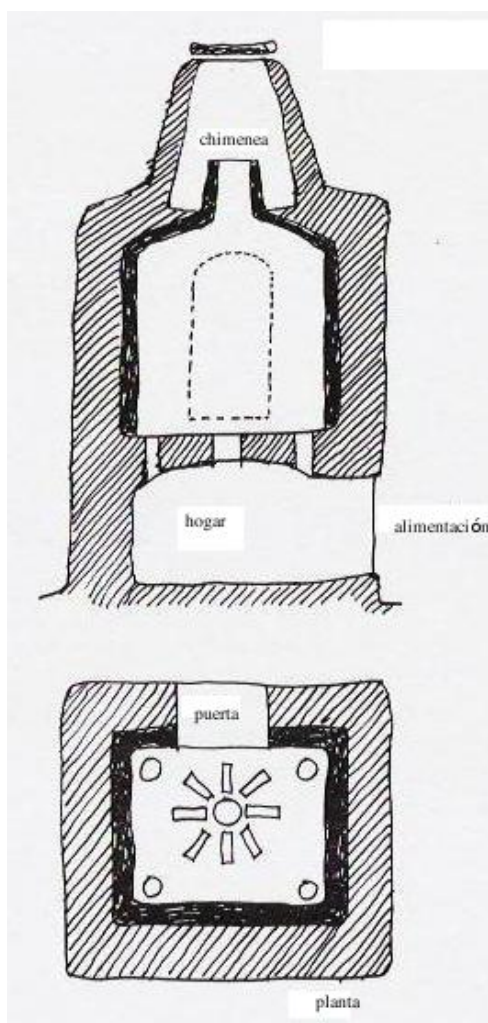


Figura 2.1: Horno para vidriado Español proveniente de la época Medieval. [6]

El horno consta de un hogar donde se alimenta con madera, un espacio de cocción de las vasijas y una chimenea. Las llamas suben del hogar hacia el hogar por medio de agujeros en el suelo de la planta de carga .

Los hornos de tejas que se utilizan en la actualidad se asemejan a los hornos de lustre italianos. En la Figura 2.2 se muestra un diagrama de los hornos utilizados en dicha época.

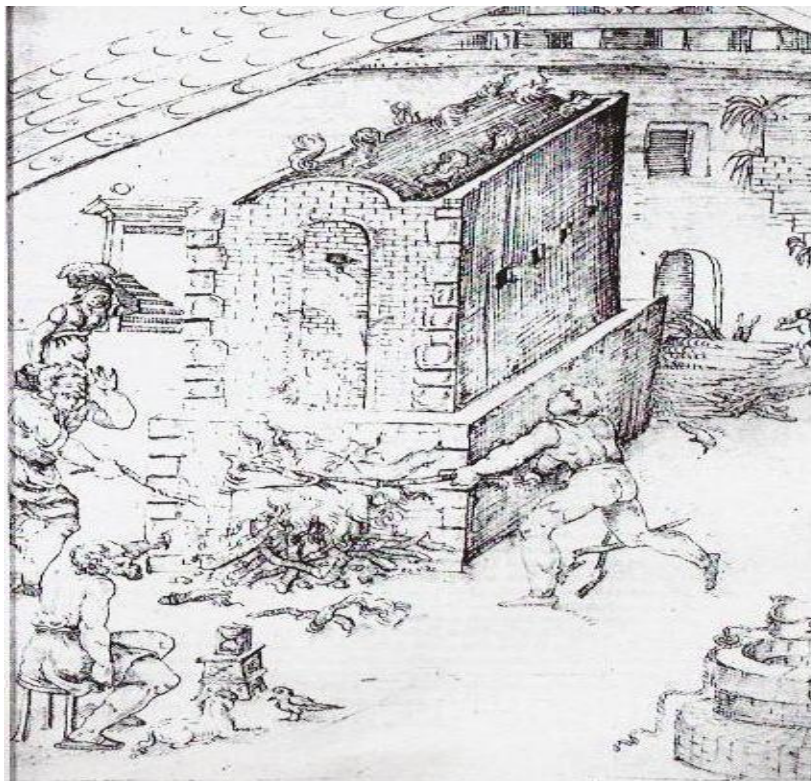


Figura # 2.2: Horno para vidriado detallado en las escrituras de Picoipasso [6].

De acuerdo con lo que detalla Rhodes en su libro “Horno para Ceramistas”, en las escrituras de Picolpasso (escritor italiano nacido en 1524) se detalla como se realizaba la cocción de la cerámica. Esta descripción coincide con los trabajos de ahora: “Es un horno pequeño sólo de aproximadamente 0.90 a 1.20 metros de anchura. La carga está sostenida por un arco doble. Sobre éste hay colocada una mufla perforada de arcilla cocida, que deja los rincones para el paso hacia arriba de fuego. El fondo de la mufla está recubierta de cuencos bizcochados, vueltos hacia abajo y algo separados y la cerámica vidriada con lustre se apila encima de ellos.”[6] Esto detalla un posible retraso en el desarrollo de los hornos de La Victoria ya que estos no difieren mucho de los detalles señalados

2.2 Diseño de Hornos

Se ha propuesto la construcción de un horno que sustituya a los hornos actuales. Para estos, se definieron que las condiciones son el de utilizar madera como medio energético para alcanzar una temperatura superior a los 800°C, canalizar los gases de combustión hacia un solo conducto, distribuir el calor con mayor uniformidad de manera que la cocción de las vasijas sea similar en cualquier ubicación del área de cocción del horno y finalmente llegar a mas de 800°C de manera que se logre la cocción y el vidriado de las artesanías de barro.

Con el cumplimiento de estas condiciones se logrará mejorar la combustión de la madera, el artesano reducirá el riesgo de la exposición de gases tóxicos con plomo y se logrará vasijas en buenas condiciones.

2.2.1 Se va a utilizar madera para el hogar debido a que la madera se puede obtener con facilidad y se la puede manipular para adaptarla a distintos diseños de hogares. Adicionalmente la madera funciona bien para

la realización de vidriados por tener cantidades pequeñas de azufre. Este le permite al artesano asegurarse que el vidriado fluya y no se adhiera a la superficie de barro. De manera complementaria existen artesanos que utilizan la ceniza como ingrediente para el vidriado, de manera de crear efectos estéticos en su coloración, y este al ser producto de la combustión de la madera es de fácil adquisición.

Para quemar leños de madera en vez de aserrín es necesaria la construcción de una parrilla por donde circule aire por debajo de la leña. Los barrotes de la parrilla deben tener el suficiente espacio como para que circule aire y caiga la ceniza de la combustión de la madera. No obstante, los barrotes deben ser del grosor de los troncos para que estos no caigan por las rendijas de los mismos. Se considera como regla general que el espaciamiento entre barrotes debe ser de entre 5 y 7 cm.

De los pocos inconvenientes de la madera como medio energético es que necesita un volumen amplio para que se produzca la combustión. El horno debe ser mas largo que ancho ya que se requiere quemar largos troncos. Es por esto, que Rhodes recomienda que las dimensiones de un hogar de leña deben tener un tamaño mínimo, estas deben ser de por lo menos 20 centímetros de ancho, 60 centímetros de largo y 30 cm de alto [6]. Las proporciones recomendadas para un horno se los puede ver en la figura 2.3:

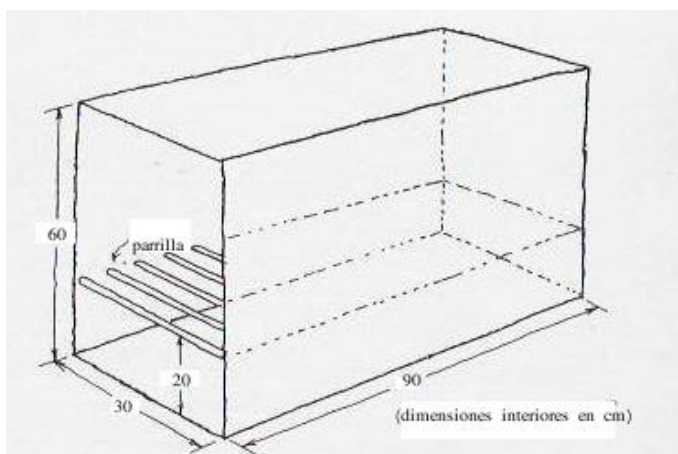


Figura 2.3: Dimensiones recomendadas para un hogar.[6]

Con un tamaño de hogar como el propuesto en la figura 2.3, se recomienda un horno de por lo menos 1 metro cúbico de capacidad caso contrario, sería un desperdicio de combustible y estructura ya que, las llamas largas producidas se escaparían por la chimenea sin transmitir su calor, y la estructura no tendría razón de ser pues se habría invertido en una estructura a la que no se le transfiere calor en óptimas condiciones [6].

La disposición del hogar debe ser en el exterior del horno ya que así se les permite a las llamas largas un cierto recorrido, que permite el intercambio calórico hacia el hogar [6]. Es probable que si se introduce leña directamente en el horno, la leña absorbe calor por radiación y las zonas cercanas al fuego van a quedar frías en comparación con las secciones donde la llama circule [1,2].

En el hogar debe incluirse una apertura para retirar las cenizas de la combustión.

2.2.2 Para mejorar la distribución de calor en el horno, es necesario desarrollar un horno que produzca una distribución calórica en todas las direcciones de las artesanías. Para eso es necesario desarrollar un tiro, que logre una diferencia de presión en la chimenea. Esta diferencia de presión es producida porque en el interior de la chimenea el aire está más caliente y por lo tanto menos denso. Esto hace que la presión de aire del tamaño de la chimenea sea menor que la de una columna del mismo

tamaño a temperatura ambiente. Esta diferencia de presión impulsa el aire a temperatura ambiente al interior del horno. Para el cálculo óptimo de la altura de la chimenea se utilizan métodos de prueba y error [7]. Por ejemplo un tiro bien diseñado para un horno de 1.2 metros cúbicos de volumen necesita una chimenea de 970 centímetros cuadrados de sección y 3,60 metros de altura para un funcionamiento óptimo [6]. No obstante, el diseño de la altura y ancho de la chimenea no son los únicos parámetros a considerar en el diseño del horno; también se debe considerar la postura del orificio de salida es también importante. La circulación de los gases se puede disponer en tres tipos de tiro: tiro superior, tiro inferior y tiro cruzado.

Históricamente, el desarrollo del tiro superior fue un gran avance con respecto a los hornos anteriores que eran completamente abiertos y no tenían tiro alguno. Las ventajas de este tipo de tiro es la sencillez en la construcción del horno. Las principales desventajas de un tiro superior es que no se puede mantener una temperatura uniforme en todo el horno y no se alcanza “una atmósfera reductora uniforme”[6]. Como consecuencia, las artesanías en la parte inferior se cocen mas rápido que en la parte superior. No obstante, se puede solucionar este inconveniente incorporando un muro o mufla que proteja a los materiales del contacto directo de las llamas y el calor. Esto se muestra en la figura 2.4

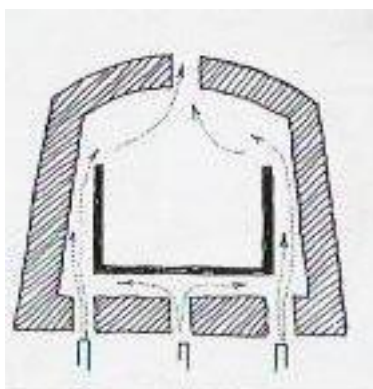


Figura 2.4: Esquema de tiro inferior.[6]

Los hornos con tiro superior son recomendados cuando se tiene como combustible gas u otro combustible liviano o cuando el horno es pequeño.

Los hornos de tiro inferior y cruzado logran un movimiento del aire caliente en forma tortuosa [6]. Esto se debe a su diseño, y se diferencian en que los hornos de tiro inferior son aquellos en que el conducto de salida de los gases se encuentra en la parte inferior del horno; y los de tiro cruzado, son los que el conducto de salida se encuentra en dirección opuesta a la entrada de los gases caliente. Las figuras 2.5 y 2.6 muestran la circulación del aire y gases combustionados de los tiros inferior y cruzado.

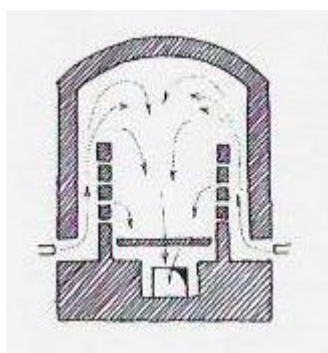


Figura 2.5: Esquema de doble tiro inferior.[6]

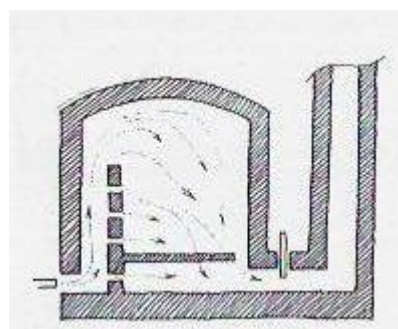


Figura 2.6: Esquema de tiro cruzado. [6]

Con este diseño se logra dos objetivos. Primero se puede transmitir mayor calor al hogar y a las piezas de cerámica; produciendo menos pérdidas de calor. Segundo, se logra una distribución uniforme de calor ya que las llamas recorren todas las secciones del horno por medio de las pantallas o muros verticales con

agujeros estratégicamente colocados [6]. La figura 2.6 de tiro cruzado señalada anteriormente, es un tipo de horno denominado Newcastle. Esta disposición se utiliza en hornos de leña donde solo se necesita un solo hogar.

Los hornos de tiro inferior y cruzado tienen la desventaja de necesitar una chimenea lo suficientemente alta para promover el arrastre de los gases. Por esta razón, el diseño de la chimenea es de suma importancia [6].

Las ventajas de estos tipos de tiro son principalmente la distribución de calor; sin embargo, podemos encontrar otras ventajas. Por ejemplo si la temperatura en la parte inferior del horno es muy alta, se puede incrementar el tamaño de los muros deflectores para permitir que las llamas se dirijan hacia la parte de arriba del horno. Si el horno se calienta demasiado en la parte de abajo, sería conveniente disminuir el tamaño de los muros de deflexión o incremenar las aberturas en la parte de abajo para que las llamas se dirijan mayoritariamente hacia abajo. Este proceso debe realizarse experimentalmente para encontrar la altura óptima del mismo [6]. Si se fuera a construir un horno, estas características le brindarían mayor flexibilidad al control de los parámetros del horno.

2.2.3 Es recomendable que los hornos tengan un registro. El registro puede ser un ladrillo u objeto resistente al calor con capacidad de cerrar el paso de gases a través de la chimenea. Esto le permite al ceramista controlar el tiro de la chimenea y cerrarlo cuando la quema haya concluido para que no se pierda calor por la chimenea. Diferentes registros se pueden visualizar en la Figura 2.7:

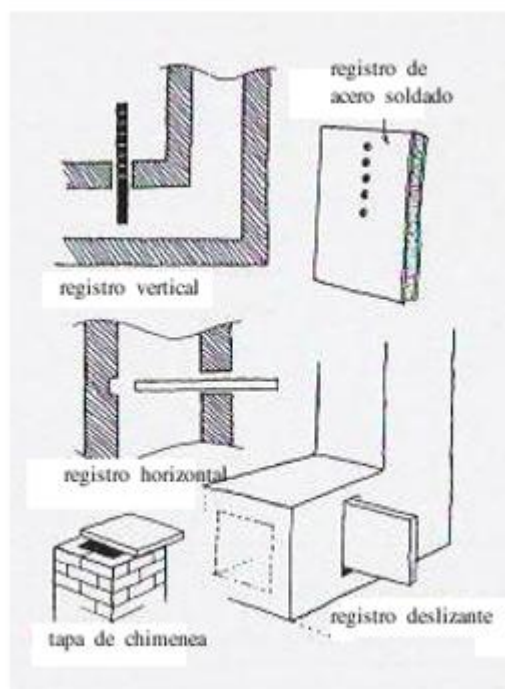


Figura 2.7: Ejemplos de registros para chimenea.[6]

El registro vertical permite un control de los gases de salida si se tiene un chimenea en forma de “L”. Usualmente no es común este tipo de registro. El registro vertical es posiblemente una buena solución para cualquier chimenea ya que las chimeneas siguen un trayecto vertical y se corta el flujo de gases con un registro horizontal. Las tapas de chimenea pueden ser utilizadas también, pero si el horno es muy alto es posible tener problemas en regular el registro hacia la posición deseada. Todos estos registros pueden ser de diferentes materiales mientras sean resistentes al calor. Se recomienda que los registros sean deslizantes para poder controlar la temperatura ya que si solo tienen una posición fija no se podrá controlar el flujo de gases de salida de la chimenea.

2.2.4 Alimentación de combustible sólido

Se recomienda que la leña sea de pino, abeto y pino-abeto debido a su alta capacidad calórica. Si no se encuentra este tipo de leña se debe buscar maderas

blandas de fibra ancha [6]. La distribución de la leña debe realizarse uniformemente de tal manera que no existan secciones de sobrecalentamiento.

Para llegar a la temperatura adecuada, es necesario añadir leña con cierta frecuencia. Sin embargo, el exceso de leña en el hogar puede llevar a que el fuego se apague. Es por esta razón que se recomienda la adición de leña en intervalos de 5 minutos.

Debido a que el compartimento de cenizas contiene entradas de aire para la alimentación de oxígeno a la leña, es necesario la remoción de estas para mantener el flujo continuo de aire.

2.2.5 La puerta del horno hacia el área de cocción debe ser cerrada para mantener caliente el horno. Para este objetivo se pueden realizar varios diseños de acuerdo al presupuesto y las necesidades. En la figura 2.8 se puede ver ejemplos de puertas.

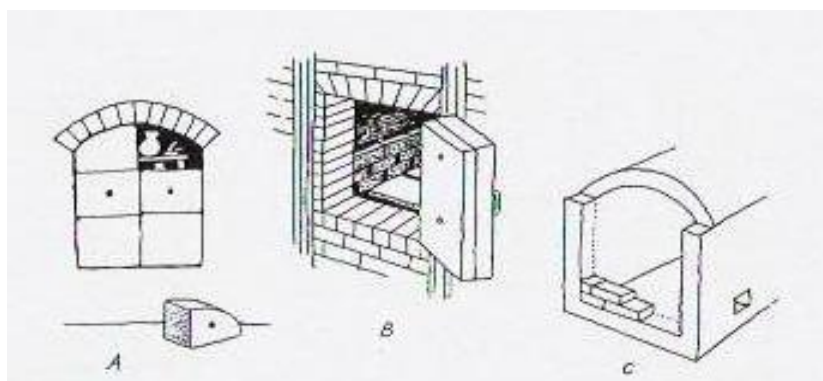


Figura 2.8: Ejemplos de puertas para hornos.[6]

El primer ejemplo, muestra una compuerta con ladrillos refractario grande, la segunda muestra una puerta metálica y recubierta con un aislante en la cara que se dirige hacia el horno, y finalmente el tercer ejemplo muestra una compuerta de ladrillos. Es posible que en términos de funcionalidad no se encuentren

diferencias apreciables en los tres sistemas; no obstante, la compuerta metálica es mas fácil de manipularla.

2.2.6 La medición de la temperatura es de importancia para conocer los tiempos de cocción, avance de temperatura y rangos de temperaturas cruciales en la cocción de las vasijas de cerámica. Para esto se pueden utilizar las siguientes métodos y equipos.

El color en el interior del horno nos brinda una buena aproximación de la temperatura. No obstante, este método es utilizado cuando se tiene experiencia con la utilización del horno. Los colores y las temperaturas del horno se pueden revisar a continuación en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Color del interior del horno en función de la temperatura [6]

Color	Grados centígrados	Escala de conos aproximado
Rojo más visible	475	ninguno
Rojo más visible a rojo oscuro	475- 650	022-019
rojo oscuro a rojo cereza	650- 750	018-016
Rojo cereza a rojo cereza brillante	750-815	015-014
Rojo cereza brillante a naranja	815-900	013-010
Naranja a amarillo	900- 1090	09-03
Amarillo a amarillo claro	1090- 1315	02-12
Amarillo claro a blanco	1315- 1540	13-20
Blanco a blanco deslumbrante	1540 y más	20 y por encima

La escala de conos representa a los conos pirométricos que se presentará a continuación.

Un cono pirométrico es una pequeña pirámide de cerámica que funde o se dobla a diferentes temperaturas. El estado de las pirámides se lo puede visualizar por medio de rejillas u orificios en el horno. Estos fueron inventados por el ceramista alemán Herman Seger [6]. Seger experimentó con distintas composiciones de cerámica y formas, una vez concluido su trabajo lo denominó “kegel” o “bolos”,

que más tarde fueron traducidos a conos.[6] El primer cono elaborado fue el cono 4 que se lo denominó así porque contenía 4 moles de óxido de silicio. En la actualidad los conos se han numerado de acuerdo a su temperatura de fusión en donde el cono 022 es el cono con menor punto de fusión y el cono 42 el de más alto (2015°C) [6]. En la Tabla 2.2 se puede visualizar la temperatura final de los conos.

Tabla 2.2: Número de cono vs. Temperatura [6]

Número de cono	Punto final (°C)	Número de Cono	Punto final (°C)
012	840	1	1125
011	875	2	1135
010	890	3	1145
09	930	4	1165
08	945	5	1180
07	975	6	1190
06	1005	7	1210
05	1030	8	1225
04	1050	9	1250
03	1080	10	1260
02	1095	11	1285
01	1110	12	1310
		13	1350
		14	1390

Los conos no son solo utilizados para la medición de la temperatura sino también, para determinar la duración de cocción. Esto se produce porque cuando la cocción es lenta, el cono se ablanda a temperatura inferior a la diseñada. Debido a que los conos se comportan de manera similar a las vasijas en el interior del horno, estos son un buen indicador del estado de cocción de la cerámica.

El número y la selección del cono depende del grado de aproximación que se requiere de la temperatura. Se los coloca uno junto a otro sobre un ladrillo refractario y se observa su comportamiento. Se considera que el cono ha llegado

a su temperatura final cuando este ha caído, es decir cuando la punta del cono alcanza el nivel de la base del mismo como lo demuestra la Figura 2.9 [6].

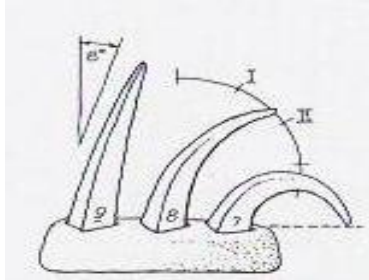


Figura 2.9: Curvatura del cono pirométrico frente a la exposición de calor. [6]

Otro método para medir temperatura en hornos es el pirómetro. El pirómetro fue diseñado por Seebeck en 1821. Él observó que al fundir cobre con hierro y el punto de solda se calienta se produce una fuerza electromotriz directamente proporcional a la temperatura, lo que hace posible utilizar un termopar.[6] Un termopar es la unión de dos o mas metales que producen un voltaje. Para medir temperaturas bajas se utiliza un termopar compuesto por aproximadamente por 10% de cromo y 90% de níquel. El alumen que es el alambre con carga negativo, es elaborado con una aleación de 94% de níquel, 2% de aluminio, 3% de magnesio y 1% de silicio. Para medir altas temperaturas se utiliza un termopar de 90% de platino y 10% de rodio; su alumen esta compuesto por platino puro. Para capturar la fuerza electro motriz se utiliza un equipo con suficiente sensibilidad para captar señales de 5 milivoltios.[6] De esta manera se introduce dicho termopar en el interior del horno y la temperatura capturada es reflejada en el voltaje que se la puede medir con un dispositivo. Este voltaje es luego calibrado para que aparezca en términos de la temperatura. El pirómetro se lo puede visualizar en la Figura 2.10.

El pirómetro es útil para conocer temperaturas exactas en las distintas etapas en la cocción de la cerámica. De esta manera se puede controlar el avance o enfriamiento de temperatura en distintas etapas críticas; como por ejemplo desde 570°C a 600°C el cuarzo cambia de forma de alfa a la beta [6].

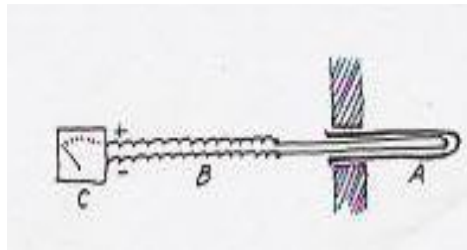


Figura 2.10: Pirómetro [6]

Para la medición de temperaturas extremadamente altas se desarrolló un pirómetro óptico y el pirómetro de radiación total. Estos utilizan la radiación luminosa para capturarlo en un dispositivo óptico y aproximar la temperatura deseada. A este dispositivo no se lo somete al calor [6].

2.2.7 En la puesta en marcha del horno se pueden presentar varios inconvenientes sin embargo las soluciones pueden encontrarse sin dificultad alguna. Por esta razón se presentan posibles problemas y soluciones para algunos inconvenientes:

No se alcanza la temperatura deseada: posiblemente el hogar no es suficiente para alcanzar la temperatura deseada. Para solucionar esto se puede incrementar el tamaño del hogar o construir otro hogar por separado [6].

Mala circulación a través del horno: esto puede ser el resultado de un diámetro de chimenea muy pequeño o por “estrechamiento de las llamas o la carga [6].” Para solucionar este inconveniente se puede incrementar el tamaño de la chimenea [6].

Calentamiento irregular: si se tiene un horno de tiro superior poco se puede hacer al respecto. No obstante, en los hornos de tiro cruzado e inferior, se puede modificar la disposición del muro de deflexión, como se mencionó anteriormente [6].

Capítulo 3

Metodología

3.1 Diseño del horno

Luego de realizar una búsqueda exhaustiva de modelos con éxito en su funcionamiento, se ha propuesto el siguiente diseño:

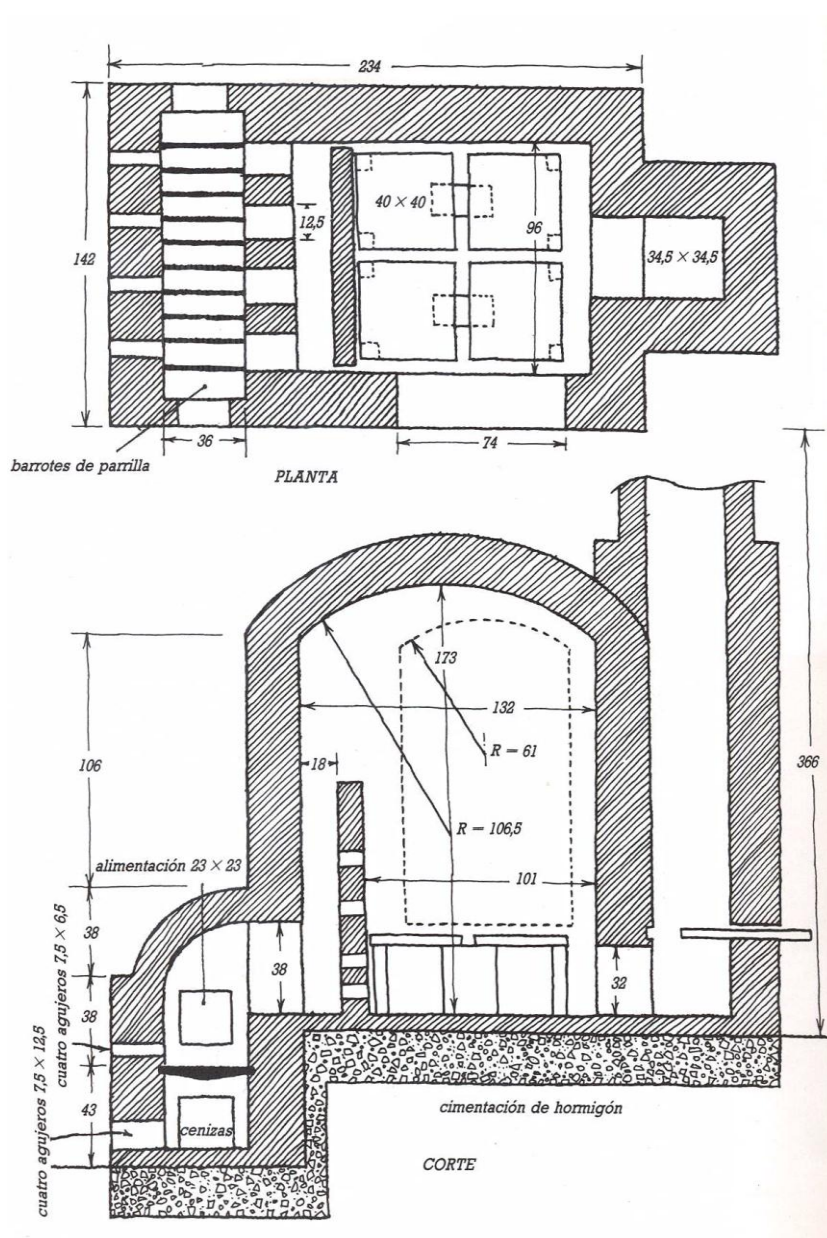


Figura 3.1: Diseño de Horno propuesto.[6]

El diseño fue obtenido del libro de Rhodes [6]. El horno está diseñado de tal manera que el hogar se encuentre separado del área de cocción. Esto permite que las llamas largas pueden distribuir su calor uniformemente y se pierda la menor cantidad de calor posible. El volumen en el área de combustión mantiene una relación con el hogar de acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente. Es un horno de tiro inferior con chimenea de 3.66m permite tener una diferencia de presión tal que los gases logran ser canalizados con facilidad. Las entradas de aire están ubicadas en el área de combustión y por debajo de la misma, para permitir una entrada de oxígeno uniforme. La cámara de combustión se dividió en dos: el área de quemado y el cenicero. Para sostener las maderas en el área de quemado se utilizó barrotes de acero con la separación de barrotes propuesta en secciones anteriores. Para regular la temperatura y la salida de calor se estableció un tiro en la parte inferior de la chimenea. Este fue elaborado con una baldosa de piso. Las dimensiones de la baldosa deben ser diseñadas de tal manera que se pueda empujar o retirar la baldosa sin ningún inconveniente. Finalmente, para proteger las artesanías del contacto directo del calor producido por las llamas, se diseñó de deflexión con orificios en distintas posiciones. Este servirá como punto de partida para la construcción de un muro de deflexión definitivo de acuerdo a la distribución de calor del horno.

3.2 Materiales y Construcción

Para que el horno pueda ser construido por los artesanos de La Victoria, es necesario que se utilicen materiales que sean adquiribles con facilidad. Los materiales que se utilizaron en la construcción del horno son los siguientes:

Taba 3.1: Materiales y cantidades utilizadas en la construcción del horno.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO
100	Trabajos varios			
101	Excavació para cimentación	m ³	1.30	6.50
102	Cimiento ciclópeo bajo paredes	m ³	1.30	95.30
103	Contrapiso de hormigón	m ³	0.37	128.00
104	Piso de ladrillo crudo	m ²	3.69	7.55
105	Mampostería de ladrillo crudo	m ²	22.13	12.85
106	Encofrado especial para cúpulas	u	3.69	35.00
107	Armado y fundido con ladrillo y chocoto cúpulas	u	1.00	450.00
108	Armado ducto para chimenea	u	1.00	250.00
109	Barros de parrilla	m ²	0.51	180.00
110	Puertas para alimentación y cenizas	u	2.00	45.00
111	Puerta principal	m	1.00	160.00
112	Bases de apoyo para tejas	u	4.00	80.00
113	Sombrero de chimenea	u	1.00	50.00
114	Desalojo de escombros	u	1.00	30.00
200	TRABAJOS EXTRAS NO PRESUPUESTADOS			
201	Encofrado de cimiento por desnivel	m ²	6.52	16.20
202	Cimiento de h. ciclópeo por desnivel	m ³	1.98	110.88
203	Relleno de tierra compactada por desnivel	m ³	1.04	5.04
204	Mampostería de jaboncillo doble de 40 cm.	m ²	33.20	12.85
205	Puerta especial para horno (diferencia)	u	1.00	110.00
206	Grada para ingreso al horno	u	1.00	45.00
207	Encofrado de cadena	m ²	2.80	16.20
208	Hierro cadena, vigas y columnas	Kg	180.64	1.60
209	Hormigón en cadena	m ³	0.28	176.40
210	Encofrado de viga de amarre	m ²	2.84	16.20
211	Hormigón en viga	m ³	0.28	176.40
212	Encofrado de columnas	m ²	1.92	16.20
213	Hormigón en columnas	m ³	0.48	176.40

El presupuesto para la construcción del horno se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Costo de construcción del horno

RESUMEN DE CUENTAS		
PROYECTO: CONSTRUCCION HORNO		
INGRESOS		500+1000+1000
EGRESOS 1	Recibo No.	VALOR
Duelas	1	12.00
Alq. Andamios	2	27.00
Tablas	3	12.00
Jaboncillos	4	160.00
Cemento	8	6.05
Cemento	5	18.15
Cemento	4	36.30
Punta y plástico	15311	9.50
Barro	11	30.00
Esponjas	12	30.00
Piedra bola, ripio y arena	13	110.00
Jaboncillos	14	300.00
Tablas, clavos, manguera	71272	49.36
Pico, pala, varilla, cemento	71174	337.96
Transporte	610	40.00
Mano de obra	1	395.00
Mano de obra	2	395.00
Mano de obra	3	395.00
Mano de obra	4	42.00
Cerrajero	1	750.00
Total egresos		3,155.32
Honorarios 10 %		315.53
Total		3,470.85

3.3 Construcción del Horno

Para la construcción del horno se contrató a la empresa Espinosa Pachano S.A.

El procedimiento en la construcción del horno se detalla a continuación:

El procedimiento inicio con una limpieza de la capa vegetal de manera que el suelo quede en las condiciones perfectas para que se pueda iniciar el proceso de construcción. Luego de este proceso se construyeron las diferentes plantas del horno. Si se visualiza el plano del horno, existen dos niveles. Cada nivel tiene una base de hormigón de una altura de 25 cm. Seguido de esto se instaló columnas y vigas de hormigón armado de 20 cm * 20 cm para amarrar las mamposterías y columnas. Consecuentemente se instaló columnas de 20 cm * 20 cm para sostener la cubierta. Las cadenas y columnas son instaladas con hierro vertical y horizontal de 10 mm y estribos de 8 mm cada 20 cm. Las Figuras 3.2 y 3.3 muestran la estructura del horno terminada.



Figura 3.2: Estructura del horno



Figura 3.3: Estructura del horno

En la base del horno se colocó jaboncillo tendido. Seguido de esto se colocó paredes de doble jaboncillo de 25 cm * 12 cm * 8 cm. Las mamposterías fueron colocadas con chocoto (barro). En el área de combustión, fueron colocados los barrotes de hierro para colocar los leños.

Finalmente, se instaló una puerta metálica con láminas interiores de lana de vidrio para evitar el paso del calor. La Figura 3.4 muestra la puerta terminada e instalada.



Figura 3.4: Puerta metálica con interiores de fibra de vidrio

La cámara de combustión del horno fue construida con cierta concavidad para que las llamas sean canalizadas hacia el interior del horno como lo muestra la Figura 3.5.



Figura 3.5: cámara de combustión cóncava

Las entradas de las llamas desde tienen ciertos muros deflectores que permiten disminuir el contacto directo de las llamas hacia las artesanías. La Figura 3.6 muestra dichas entradas:



Figura 3.6: entrada de las llamas desde la cámara de combustión al interior del horno

De manera de producir una mejor distribución de calor en el horno, se construyó un tiro inferior. Este tiro permite que el calor circule alrededor del horno antes salga fuera del horno por la chimenea. El orificio del tiro inferior se presenta en la Figura 3.7



Figura 3.7: orificio de salida de los gases

Finalmente, en la Figura 3.8 se muestra el horno construido.



Figura 3.8: horno terminado

CAPTITULO 4.

Funcionamiento y Modificación del Horno

Fue de suma importancia la puesta en marcha del horno para realizar las respectivas correcciones del equipo.

4.1 Problemas y Soluciones en la puesta en marcha del horno

Al realizar la primera quema en el horno, fue posible constatar que era necesario incrementar la altura de la chimenea ya que los gases no tenían esa diferencia de presión que permitiría canalizar los gases hacia un solo conducto. Por lo tanto, se incrementó la altura de la chimenea y el problema fue solucionado. En la Figura 4.1 se muestra que la altura de la chimenea inicial y en la Figura 4.2 se muestra la altura de la chimenea ajustada para la canalización de gases hacia un conducto único.



Figura 4.1: altura de la chimenea antes



Figura 4.2: altura de la chimenea después

En la construcción inicial del horno no se realizó la instalación de un tiro variable de manera de controlar la temperatura y por lo tanto, se inserto un ladrillo en la mitad del conducto de chimenea para tener un tiro intermedio como lo muestra la

figura 4.3. No obstante, luego de realizar una serie de pruebas se vio necesario la construcción de un registro horizontal. Para esto fue necesario remover el ladrillo que anteriormente servía como registro intermedio y con esto la chimenea tenía una salida completa de gases. Fue entonces que se cabo un orificio del ancho de la chimenea para insertar una baldosa que permita regular el paso de los gases, como lo muestra la figura 4.4.



Figura 4.3 ladrillo intermedio en
el interior de la chimenea



Figura 4.4: Registro Regulable

Fue notorio que la cámara de combustión necesitaba un mayor flujo de aire para que se logre una mejor combustión, pues se necesitaba mayor temperatura y el momento de adicionar leños a la cámara la combustión esta emitía grandes cantidades de humo. Para solucionar esto se incremento el tamaño de los orificios de aire que se encuentran en la cámara de combustión.

Sin embargo aún no se llegaba a la temperatura de vidrioado a pesar de haber realizado una serie de mejoras como: variar la altura de la chimenea, incrementar los orificios de aire, variar la altura del muro de deflexión y abrir el tiro por

completo. Para solucionar este inconveniente se cambió la materia de combustión utilizada. Inicialmente se utilizaba madera de eucalipto de unos 60 cm de largo x 10 cm de ancho y 10 cm de profundidad. Esta leña contenía un alto porcentaje de humedad y si se variaba su tamaño, existía la posibilidad de que caigan por los barros de hierro hacia el cenicero. Al ocurrir esto no se aprovecha su energía potencial. Este problema, se solucionó utilizando leños de eucalipto muy finos y largos (aproximadamente 1.5m x 3cm de ancho) que coloquialmente los denominan “chamisa”. Esta leña también se caracteriza por tener hojas secas no desprendidas de sus ramas. Consecuentemente se eliminó el muro de deflexión para verificar si este también influía en la temperatura. Con estos cambios fue posible el vidriado de tejas.

Al eliminar el muro de deflexión y utilizar chamisa, las vasijas en la entrada del horno, empezaron a carbonizarse. Para solucionar este inconveniente se reinstaló el muro de deflexión aunque este ahora es más pequeño que el inicial. Esto permite proteger las vasijas de la llama directa pero no influir en la temperatura del horno de manera considerable.

Ya que no se tiene un pirómetro para medir la temperatura del horno, es necesario cargar el horno con vasijas y ver su efecto. No obstante, es necesario visualizar dichas vasijas y tejas para constatar su estado de cocción. Para esto, se cavó un orificio en la pared frontal de la puerta del horno y pese poder visualizar el estado de las artesanías. En la Figura 4.5 se puede presentar el orificio creado para la observación de las artesanías.



Figura 4.5: Orificio para visualizar las cerámicas

Para encontrar una temperatura aproximada del horno, se instalaron conos pirométricos de 700 °C para verificar dicha temperatura. No obstante, al no encontrar conos de otras temperaturas no se conoce la temperatura más alta del horno. Se intentó utilizar un pirómetro óptico de Adelca S.A., pero este equipo mide la temperatura de diferentes materiales y el horno además de estar construido por diferentes materiales, no tiene orificios lo suficientemente grandes por donde sea posible utilizar dicho equipo y medir la temperatura de las artesanías o tejas vidriadas. Sin embargo se logró medir que la temperatura de los ladrillos cercanos a la puerta del horno tienen una temperatura aproximada de 630 °C, de acuerdo a lo que medía el equipo.

4.2 Observaciones en el Funcionamiento del Horno

El horno muestra diferentes temperaturas en las distintas secciones del horno. Esto lo mostraron las artesanías en las distintas quemadas. La figura 4.2 muestra las temperaturas más altas y bajas del horno.

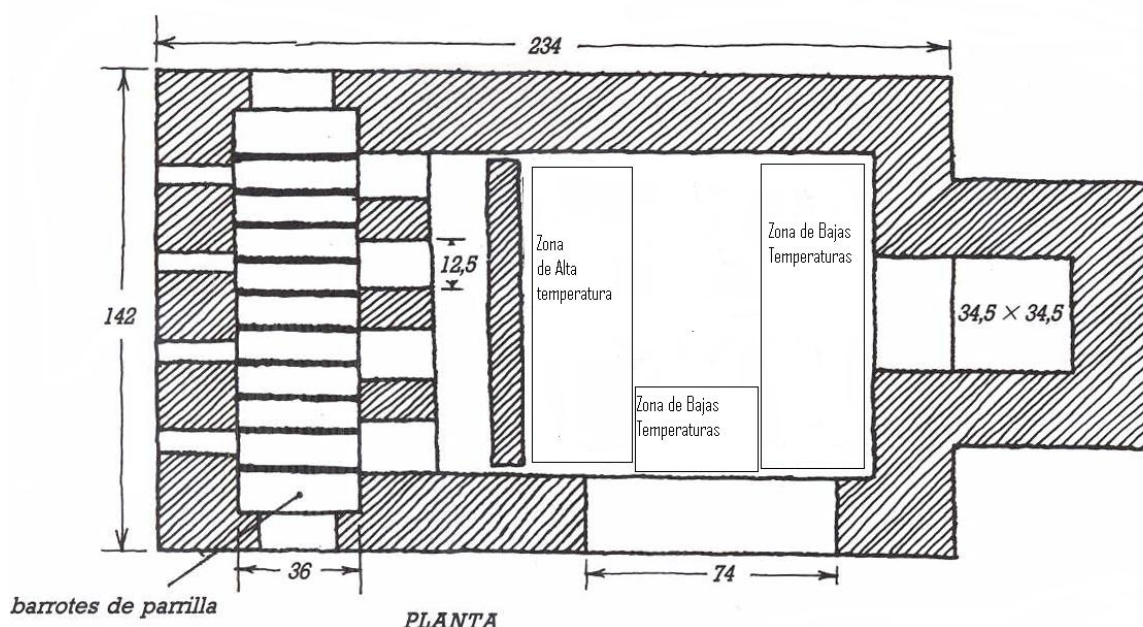


Figura 4.2: Distribución de Temperaturas en el Horno

Por ejemplo, las piezas cercanas a la puerta donde se carga el material se cuecen menos que las piezas que se encuentran cercanas al hogar de combustión.

Al variar el material utilizado para la combustión se obtuvo un tiempo de quema considerablemente más corto. Al inicio se utilizaba trozos de madera de eucalipto de aproximadamente 40 cm de largo por 10 cm de diámetro y se cocían las artesanías en más de 6 horas y solo se llegaba a cocer el barro y mas no al vidriado de las mismas. Más tarde, se utilizó chamisa (madera de eucalipto seca en pedazos largos de aproximadamente 80 cm de largo por 10 cm de diámetro se redujo este tiempo a 2 horas y media, y ahora no solo que se cuece el barro sino también se logra vidriar el material.

5. Conclusiones y Recomendaciones

El horno fue construido con una cámara de combustión lateral a la sección de horneado de las vasijas. Esto permitió, en comparación con los hornos artesanales actuales, que no exista una quema uniforme de las vasijas (las de abajo se cuecen mucho más que las de arriba). Se utilizó un tiro cruzado para que el calor circule alrededor del horno y se transfiera de mejor maneras. Además de esto, fue necesario diseñar una chimenea con un tiro tal que permita arrojar los gases hacia un conducto único de manera que se reduzca la emanación de gases tóxicos (de plomo y de combustión) por parte de los artesanos. A pesar de que el horno fue diseñado para que las quemas se realicen con leña, no es posible utilizar cualquier tipo de leña. Fue posible probar que dicho diseño de horno funciona solo con “chamisa”. Si fuera necesario cambiar a leños de Eucalipto de 60x10x10cm recomendaría ampliar la cámara de combustión. Se planificó la ampliación de dicha área, pues se cementó una sección para ese uso. Lamentablemente no fue posible realizar la modificación por falta de recursos.

Los materiales utilizados en la construcción del horno son los mismo que ellos los utilizan en sus hornos. Se analizó el presupuesto de construcción actual, que fue de 3928.47 USD y se planteó a un artesano, constructor de hornos. El planteó que él podría construir un horno de mayor capacidad pero con costo notablemente inferior debido a que el costo de la mano de obra lo asumiría él.

Considero que la conclusión más importante a la que se pudo llegar en el diseño del horno es el de resaltar la importancia de buscar hornos con tiro inferior y chimeneas lo suficientemente altas para que los gases se difundan a los

alrededores y no hacia el artesano. Inclusive, si los hornos actuales ya fueron diseñados con tiros superiores y los artesanos no quieren construir uno nuevo; es posible modificar los hornos actuales de manera simple. Sería posible analizar la posibilidad de instalar muros o puertas en los orificios donde se ingresa las artesanías para que los gases no salgan del horno. Consecuentemente, sería necesario incrementar la altura de las chimeneas para que se produzcan una diferencia de presión entre la chimenea y la entrada de aire; y los gases dirijan hacia afuera.

De manera de buscar soluciones al vidriado de plomo, se recomienda realizar investigaciones de la difusión de los gases con plomo desde la salida de la chimenea hacia los alrededores. Y si fuera pertinente, se podría insertar un filtro en la parte superior de la chimenea del horno para capturar las partículas de plomo. No obstante, considero en que la mejor manera de solucionar este inconveniente es el de eliminar el uso de plomo en cualquier tipo de artesanía.

Finalmente, considero pertinente resaltar que sería importante realizar proyectos junto con otras áreas del Politécnico en la Universidad San Francisco de Quito. Por ejemplo, en la construcción del horno bien pudiéramos haber utilizado un estudiante de Ingeniería Civil y el costo del proyecto pudiera haber sido notablemente inferior.

6. Bibliografía

- [1] Counter, S.A., Buchanan, L., Ortega, F., Amarasiriwardena, C., Hu, H. (2000). Environmental lead contamination and pediatric lead intoxication in an Andean Ecuadorian village. *Int J Occup Environ Health* 75:169-176.
- [2] Rhodes, Daniel. *Horno para Ceramistas*. Barcelona: Ceac, 1987
- [3] Gilchrist J D., Extraction Metallurgy., 2nd Edition. Great Britain. Pergamon Press, 1980
- [4] "Lead". *Handbook of common poisonings in children / Committee on Accident and Poison Prevention American Academy of Pediatrics*. Evanston: American Academy of Pediatrics, 1976.
- [5] Publicación Científica ; no. 388. *Criterios de salud ambiental ; 3. PLOMO*. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, 1979
- [6] Rhodes, Daniel. *Arcilla y Vidriado para el Ceramista*. Barcelona: Ceac, 1987
- [7] Lecture: Air Movement and Natural Ventilation 29 April 2003 The University of Hong Kong. June 24 2009
<<http://www.arch.hku.hk/teaching/lectures/airvent/sect03.htm>>
- [8] Quartz Page. Auburn University . June 24 2009
<www.auburn.edu/~hameswe/Quartzpage.html>
- [9] Himmelblau, David M. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. 6ta ed. México D.F: Pearson Education, 1997.
- [10] Incropera, Frank P., y David P. DeWitt. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México D.F: Prentice Hall, 1999.
- [11] McCabe, Warren L., Julian C. Smith, y Peter Harriot. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 6ta ed. México D.F: McGraw-Hill, 2001.
- [12] Smith, J M., H C. Van Ness, y M M. Abbott. Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química. 6ta ed. México D.F: McGraw-Hill, 2001.
- [13] Welty, James R., Charles E. Wicks, y Robert E. Wilson. Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. México D.F: Limusa, 1998.
- [14] Perry Robert H., Green Don. W., Chemical Engineers Handbook, 7th Edition. New York. McGraw Hill, 2007